

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-330976

(43)Date of publication of application : 21.11.2003

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

G06T 7/60

G06T 17/40

(21)Application number : 2002-142260

(71)Applicant : INST OF PHYSICAL & CHEMICAL
RES

(22)Date of filing : 17.05.2002

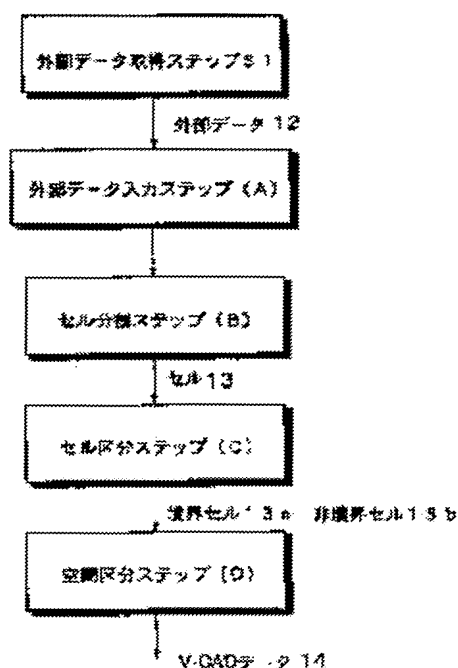
(72)Inventor : KASE KIWAMU

(54) INSIDE/OUTSIDE DETERMINING METHOD OF BOUNDARY DATA AND ITS PROGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an inside/outside determining method and its program which is robust against incomplete boundary information and can determine inside/outside even if boundary information is incomplete, whose processing time is short and high-speed, which can be installed easily in a computer, does not raise fears that different spaces are classified into a single space and can be applied to a multi-space.

SOLUTION: This method has an external data input step for entering an external data 12 made of boundary data of a target 1 (A), a cell division step for dividing the external data to a rectangular solid cell 13 crossed by a boundary plane (B), a cell classification step for classifying each of the divided cells to a boundary cell 13a including the boundary data and a non-boundary cell 13b not including the boundary data (C) and a space classification step for classifying the non-boundary cell 13b to a plurality of spaces partitioned by the boundary cell 13a (D).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.04.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-330976

(P2003-330976A)

(43) 公開日 平成15年11月21日 (2003. 11. 21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターコード (参考)
G 0 6 F 17/50	6 1 2	G 0 6 F 17/50	6 1 2 H 5 B 0 4 6
G 0 6 T 7/60	1 8 0	G 0 6 T 7/60	1 8 0 Z 5 B 0 5 0
17/40		17/40	C 5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2002-142260 (P2002-142260)

(22) 出願日 平成14年 5 月17日 (2002. 5. 17)

(71) 出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢 2 番 1 号

(72) 発明者 加瀬 究

埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所
内

(74) 代理人 100097515

弁理士 堀田 実

F ターム (参考) 5B046 JA07

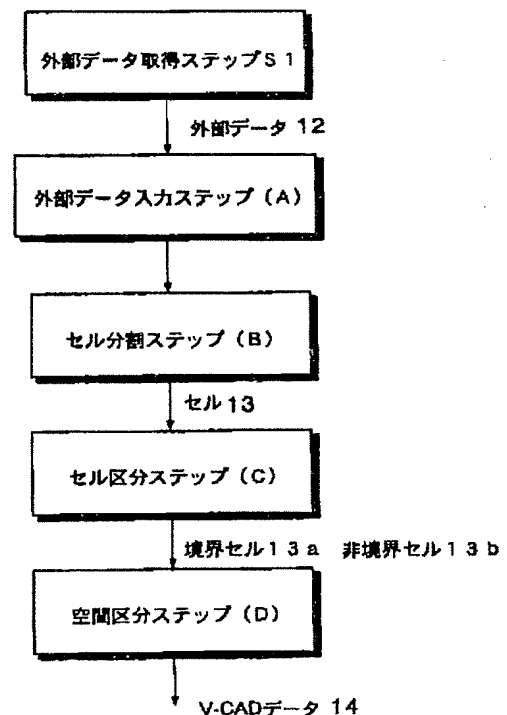
5B050 BA06 BA07 BA09 EA03 EA04
EA065L096 AA09 EA35 FA06 FA74 FA78
GA34

(54) 【発明の名称】 境界データの内外判定方法とそのプログラム

(57) 【要約】

【課題】 境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても内外判定ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である内外判定方法とそのプログラムを提供する。

【解決手段】 対象物 1 の境界データからなる外部データ 1 2 を入力する外部データ入力ステップ (A) と、外部データを境界平面が直交する直方体セル 1 3 に分割するセル分割ステップ (B) と、分割された各セルを境界データを含む境界セル 1 3 a と境界データを含まない非境界セル 1 3 b とに区分するセル区分ステップ (C) と、非境界セル 1 3 b を境界セル 1 3 a で仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ (D) とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対象物の境界データからなる外部データ (12) を入力する外部データ入力ステップ (A) と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル (13) に分割するセル分割ステップ (B) と、分割された各セルを境界データを含む境界セル (13a) と境界データを含まない非境界セル (13b) とに区分するセル区分ステップ (C) と、前記非境界セル (13b) を境界セル (13a) で仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ (D) とを有する、ことを特徴とする境界データの内外判定方法。

【請求項 2】 前記空間区分ステップ (D) は、空間番号 k を初期設定する初期設定ステップ (D1) と、前記直方体セル (13) の全てを順に走査して空間番号 k をラベル付けするラベル付ステップ (D2) と、ラベル付けた空間番号 k を付け直すラベル修正ステップ (D3) とからなり、

該ラベル付ステップ (D2) は、直前のセルと走査中のセルが非境界セル (13b) である場合には走査セルに直前セルと同じ空間番号 k をラベル付けするステップ (E1) と、走査セルが境界セル (13a) である場合には走査セルに境界セルの空間番号をラベル付けするステップ (E2) と、直前セルが境界セル (13a) であり走査セルが非境界セル (13b) である場合には空間番号 k を $k+1$ に更新しかつ走査セルに更新した空間番号 k をラベル付けするステップ (E3) とからなり、

ラベル修正ステップ (D3) は、隣接するセルの空間番号を比較するステップ (F1) と、その最も小さい空間番号に隣接するすべてのセルの空間番号 k を付け直すステップ (F2) とからなる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の境界データの内外判定方法。

【請求項 3】 前記セル分割ステップ (B) において、直方体セル (13) を外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点が得られるまで、八分木分割により再分割する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の境界データの内外判定方法。

【請求項 4】 前記セル分割ステップ (B) において、ボクセルデータを同一の大きさの直方体セル (13) に分割する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の境界データの内外判定方法。

【請求項 5】 前記ラベル付ステップ (D2) は、X、Y、Z の 3 方向に対して順に繰返し、或いは再帰的な処理により、前記直方体セル (13) の全てを順に走査する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の境界データの内外判定方法。

【請求項 6】 前記ラベル付ステップ (D2) とラベル修正ステップ (D3) は、走査セル毎に順に行い、或いは、ラベル付ステップ (D2) をすべてのセルに対して行った後、ラベル修正ステップ (D3) を行う、ことを特徴とする請求項 2 に記載の境界データの内外判定方

法。

【請求項 7】 計算機を用いて、対象物の境界データからなる外部データ (12) を入力する外部データ入力ステップ (A) と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル (13) に分割するセル分割ステップ (B) と、分割された各セルを境界データを含む境界セル (13a) と境界データを含まない非境界セル (13b) とに区分するセル区分ステップ (C) と、前記非境界セル (13b) を境界セル (13a) で仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ (D) とを実施するための境界データの内外判定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、2次元又は3次元の境界面の内側か外側かを判定する境界データの内外判定方法とそのプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】 研究開発・技術開発の現場において、CAD (Computer Aided Design)、CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE (Computer Aided Engineering)、CAT (Computer Aided Testing) などが、それぞれ設計、加工、解析、試験のシミュレーション手段として用いられている。また、連続的なシミュレーションである C-Simulation (Cooperative Simulation)、加工プロセスも考慮した A-CAM (Advanced CAM)、究極の精度が出せる D-fabrication (Deterministic fabrication) など、普及しつつある。

【0003】 上述した従来のシミュレーション手段では、対象物の境界面は重要な意味をもち、例えば、対象物を境界で表現し、境界面の内部は一樣に扱うようなことが広く行われる。このような場合、2次元又は3次元の境界面の内側か外側かを判定する内外判定方法が必要となる。従来の内外判定方法としては、(1) 光線交差法、(2) 境界追跡を用いた領域成長 (拡張) 法、(3) 画像処理におけるラスタ追跡、(4) 多方向追跡、(5) Curlless の方法、(6) 八分木を使った Szeliski の方法や Pulli の方法、特開平 9-81783 号等が知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 (1) の領域成長 (拡張) 法 (Ray crossings method) は、入力境界面がある場合にある点から発した光線 (半直線) と境界との交点が偶数か奇数かで、偶数だと光線の視点は物体の外部、奇数だと物体の内部と判別するのである。かかる領域成長 (拡張) 法は、たとえば、"Computational geometry in

C second edition" (J. O'Rourke, p. 246, Cambridge University Press, 1998.) に開示されている。領域成長(拡張)法は、光線がたまたま境界と接する場合には、重根となるために本来2つあるはずの交点の一つになってしまうため適用できず、境界情報に不備(CADデータなどで異なるソフトウェアから読み込む場合に表現の仕方の違いや、数値誤差の要因からデータの欠落が起こるがある)の場合にも適用できないという問題があった。

【0005】(2)境界情報のみが与えられた画像処理における境界追跡を用いた領域成長(拡張)法は、例えば、「デジタル画像処理」(Rosenfeld & Kak 長尾訳、近代科学社、pp. 353~357)に開示されているが、処理が全体に及ぶために遅くなること、および表面情報に不備があると内外判定が正しくできないなどの問題があった。

【0006】(3)画像処理におけるラスタ追跡は、同「デジタル画像処理」、p. 334に開示されており、X軸など座標軸に沿ってセルを走査しながら境界や境界にはさまれる領域を追跡してゆく方法であるが、やはり不備(閉曲面となっていない)のある境界情報を量子化した画像とした場合には正しく内外判定ができない。

【0007】(4)これを回避する方法として多方向追跡(同p. 332)もあるが効率が低い。

【0008】(5)リバースエンジニアリング(測定点群から表面情報を再構築する方法)の分野におけるCurlessの方法は、規則的に並んだ測定点と測定対象に対する複数のカメラの方向などの外部的な情報を用いて、距離に基づく陰関数を場全体で定義して、表面情報を再構築する頑健な方法であり、"A volumetric method for building complex models from range images." (B. Curless and M. Levoy, In Proceedings of SIGGRAPH '96, pages 303-312, August 1996)に開示されている。しかしCurlessの方法は、全てのセルにおける距離場計算をしなくてはならない点で、データ量と計算時間のデメリットがある。またセルのサイズより薄い構造や鋭角な面において距離関数が正しく計算できないなどの精度上の問題も指摘されている。これは内外判定においても誤判断を招くものである。

【0009】(6)八分木を使ったSzeliskiの方法(R. Szeliski, "Rapid octree construction from image sequences.")やPulliの方法("Robust meshes from multiple range maps." K. Pulli, T.

Duchamp, H. Hoppe, J. McDonald, L. Hapfiro, W. Stuetzle. Proceedings of International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling, May 1997, pages 205-211.)も幾つか取得した対象のレンジデータ(距離データ)と空間を八分木で分割したセルとの関係を内部、外部、境界の3つに分類して境界を再構築する方法である。これらの方法では、投影(projection)操作を各セルにおいて用いているために、処理が煩雑、時間がかかる、ひいては投影操作における計算の不安定性の問題がある。

【0010】特開平9-81783号の「有限要素モデル処理システム及びその方法」は、判定対象の分割要素の面積と、該分割要素の各辺の節点と判定対象の節点とを頂点とする各3角形の面積の和とが一致するかを判定するものである。しかし、この方法は、境界情報に不備がある場合に適用できないという問題があった。

【0011】本発明は上述した問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても内外判定ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である内外判定方法とそのプログラムを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、対象物の境界データからなる外部データ(12)を入力する外部データ入力ステップ(A)と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル(13)に分割するセル分割ステップ(B)と、分割された各セルを境界データを含む境界セル(13a)と境界データを含まない非境界セル(13b)とに区分するセル区分ステップ(C)と、前記非境界セル(13b)を境界セル(13a)で仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ(D)とを有する、ことを特徴とする境界データの内外判定方法が提供される。

【0013】また、本発明によれば、計算機を用いて、対象物の境界データからなる外部データ(12)を入力する外部データ入力ステップ(A)と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル(13)に分割するセル分割ステップ(B)と、分割された各セルを境界データを含む境界セル(13a)と境界データを含まない非境界セル(13b)とに区分するセル区分ステップ(C)と、前記非境界セル(13b)を境界セル(13a)で仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ(D)とを実施するための境界データの内外判定プログラムが提供される。

【0014】上記本発明の方法とそのプログラムによれば、セル分割ステップ(B)ですべての外部データ(12)を境界平面が直交する直方体セル(13)に分割し、セル区分ステップ(C)で分割された各セルを境界セル(13a)と非境界セル(13b)とに区分するので、外部データ(12)は仮に境界情報の不備があっても、必ず境界セル(13a)又は非境界セル(13b)に区分される。また、直方体セル(13)は、元の境界データに比べて大きいので、境界データの一部(例えば1点)のみを含むものを境界セル(13a)とすることにより、境界データは必ず境界セル(13a)に含まれる。更に、データの欠落等、境界情報に不備があっても、その欠落の大きさが非境界セル(13b)の大きさより小さい限り、欠落を含む境界データも必ず境界セル(13a)に含まれる。したがって本発明の方法とそのプログラムは、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても内外判定ができる。

【0015】本発明の好ましい実施形態によれば、前記空間区分ステップ(D)は、空間番号kを初期設定する初期設定ステップ(D1)と、前記直方体セル(13)の全てを順に走査して空間番号kをラベル付けするラベル付ステップ(D2)と、ラベル付けした空間番号kを付け直すラベル修正ステップ(D3)とからなり、該ラベル付ステップ(D2)は、直前のセルと走査中のセルが非境界セル(13b)である場合には走査セルに直前セルと同じ空間番号kをラベル付けするステップ(E1)と、走査セルが境界セル(13a)である場合には走査セルに境界セルの空間番号をラベル付けするステップ(E2)と、直前セルが境界セル(13a)であり走査セルが非境界セル(13b)である場合には空間番号kをk+1に更新しかつ走査セルに更新した空間番号kをラベル付けするステップ(E3)とからなり、ラベル修正ステップ(D3)は、隣接するセルの空間番号を比較するステップ(F1)と、その最も小さい空間番号に隣接するすべてのセルの空間番号kを付け直すステップ(F2)とからなる。

【0016】この方法によれば、直方体セル(13)の全てに対して、ラベル付ステップ(D2)とラベル修正ステップ(D3)を1回ずつ行うだけで、すべての非境界セル(13b)を境界セル(13a)で仕切られた複数の空間に区分することができる。従って、セル数nが大きい場合でも、処理時間はO(n)のオーダー(nに比例)するのみであり、高速処理ができる。また、計算手順がシンプルであり、プログラム化や計算機への実装が簡単である。更に、境界セル(13a)で仕切られた複数の空間には異なる空間番号kが付けられるので、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である。

【0017】また、前記セル分割ステップ(B)において、直方体セル(13)を外部データに含まれる境界面

を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割する、ことが好ましい。また、前記セル分割ステップ(B)において、ボクセルデータを同一の大きさの直方体セル(13)に分割する、ことが好ましい。セル分割ステップ(B)において八分木分割することにより、V-CADデータに適用することができる。また、等分割することにより、通常のボクセルデータを扱うこともできる。

【0018】前記ラベル付ステップ(D2)は、X、Y、Zの3方向に対して順に繰返し、或いは再帰的な処理により、前記直方体セル(13)の全てを順に走査する。ボクセルデータの場合には、X、Y、Zの3方向に対して順に繰返すことにより、V-CADデータの場合には、再帰的な処理により、直方体セル(13)の全てを順にもれなく走査することができる。

【0019】前記ラベル付ステップ(D2)とラベル修正ステップ(D3)は、走査セル毎に順に行き、或いは、ラベル付ステップ(D2)をすべてのセルに対して行った後、ラベル修正ステップ(D3)を行うことが好ましい。ラベル付ステップ(D2)とラベル修正ステップ(D3)を、走査セル毎に順に行うことで、隣接するすべてのセルの空間番号kを最も小さい空間番号に随時付け直すことができ、空間番号kの最大値を小さくできる。また、ラベル付ステップ(D2)をすべてのセルに対して行った後、ラベル修正ステップ(D3)を行うことにより、ラベル修正の回数を少なくできる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。

【0021】本発明の発明者等は、先に、「形状と物性を統合した実体データの記憶方法」を創案し出願している(特願2001-025023)。この方法は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法に関するものである。この方法によるデータを「V-CADデータ」と呼び、このデータを用いた設計やシミュレーションを「ボリュームCAD」又は「V-CAD」と呼ぶ。

【0022】本発明の境界データの内外判定方法は、V-CADデータへ適用するのに特に適しているが、これに限定されず、通常のボクセルデータにも同様に適用することができる。

【0023】初めに本発明における用語を説明する。入力としての境界(表面)データがあるときにボクセルや八分木のオクタントなどの3次元空間を分割する直方体の表面およびその内部の領域を「セル(cell)」とよび、セルに対して表面の情報を保持させる場合のセル

を「境界セル (boundary cell)」、表面の情報をもたないセルを「非境界セル (non-boundary cell)」(特願2001-025023では「内部セル (inner cell)」)とよぶ。対象としている3次元空間は有限の広がりを持つもの(「ボリューム世界 (volume world)」または単に「世界 (world)」と呼ぶ)とし、世界は境界セルと非境界セルの2種類のうちどちらかで隙間なく、かつセルの内部の広がり重複なく覆われている(胞複体 (cell complex))。

【0024】言い換えると、境界セルはセルを構成するセルの内部、およびセルの境界である面、稜、頂点のどれかに入力境界データとの交点があるものであり、そうでないものは全て非境界セルである。隣接するセルどうしはその種類を問わずセル境界のみを共有している。2次元多様体を境界としてもつ3次元の内部が詰まった物体を「空間」と呼ぶ。それぞれの空間は互いに連結でない場合は異なる空間として認識される。したがって閉曲面で表現される境界(表面)で囲まれた部分(点集合)を指し、現実世界ではおなじ材質の物体を限定する単位として用いる。逆に異なる空間を区別する境を「境界 (boundary: 数学で用いられる境界と同じ定義)」もしくは「表面」と呼ぶ。

【0025】図1は、本発明の境界データの内外判定方法のフロー図である。この図に示すように、本発明の方法は、外部データ入力ステップ(A)、セル分割ステップ(B)、セル区分ステップ(C)、及び空間区分ステップ(D)からなる。

【0026】外部データ入力ステップ(A)では、外部データ取得ステップS1で取得した対象物1の境界データからなる外部データ12を本発明の方法を記憶したコンピュータ等に入力する。セル分割ステップ(B)では、外部データ12を境界平面が直交する直方体セル13に分割する。直方体セル13は直方体セルの他、立方体セルでもよい。セル区分ステップ(C)では、分割された各セルを境界データを含む境界セル13aと境界データを含まない非境界セル13bとに区分する。空間区分ステップ(D)では、非境界セル13bを境界セル13aで仕切られた複数の空間に区分する。

【0027】本発明の方法を、V-CADデータへ適用する場合には、セル分割ステップ(B)において、直方体セル13を外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割する。また、通常のボクセルデータに適用する場合には、セル分割ステップ(B)において、同一の大きさの直方体セル13に分割する。

【0028】図2は、図1の空間区分ステップ(D)のフロー図である。この図に示すように、空間区分ステップ(D)は、初期設定ステップ(D1)、ラベル付ステップ(D2)及びラベル修正ステップ(D3)からな

る。初期設定ステップ(D1)では、空間番号kを初期設定($k=1$)する。ラベル付ステップ(D2)では、直方体セル13の全てを順に走査して空間番号kをラベル付けする。ラベル修正ステップ(D3)では、ラベル付けした空間番号kを付け直す。

【0029】ラベル付ステップ(D2)は、通常のボクセルデータに適用する場合には、X、Y、Zの3方向に対して順に繰返す。また、V-CADデータへ適用する場合には、再帰的な処理により、直方体セル13の全てを順に走査する。

【0030】図2において、ラベル付ステップ(D2)は、ステップ(E1)、ステップ(E2)及びステップ(E3)からなる。ステップ(E1)において、直前のセルと走査中のセルが非境界セル13bである場合には走査セルに直前セルと同じ空間番号kをラベル付けする。ステップ(E2)において、走査セルが境界セル13aである場合には走査セルに境界セルの空間番号をラベル付けする。ステップ(E3)において、直前セルが境界セル13aであり、かつ走査セルが非境界セル13bである場合には、空間番号kを $k+1$ に更新し、かつ走査セルに更新した空間番号kをラベル付けする。

【0031】また図2において、ラベル修正ステップ(D3)は、隣接するセルの空間番号を比較するステップ(F1)と、その最も小さい空間番号に隣接するすべてのセルの空間番号kを付け直すステップ(F2)とからなる。

【0032】なお、ラベル付ステップ(D2)とラベル修正ステップ(D3)は、走査セル毎に順に行っても良く、或いは、ラベル付ステップ(D2)をすべてのセルに対して行った後、ラベル修正ステップ(D3)を行っても良い。

【0033】図3は、2次元におけるラベル付ステップ(D2)の模式図であり、図4は、3次元におけるラベル付ステップ(D2)の模式図である。図3及び図4を参照して、本発明の方法を更に詳細に説明する。

【0034】入力データとして、空間の境界情報と世界を分割するための最小の分解能を必要とする。境界情報は、変換や計算の結果、部分的に情報の欠落しているようなケースも許すものとする。外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。外部データ12は、このようなデータのほかに、V-CAD独自のインターフェースにより人間の入力により直接作成されたデータと、(2)測定機やセンサ、デジタイザなどの表面のデジタイズデータや、CTスキャンやMRI、および一般的にVolumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報をもつVolumeデータであってもよい。

10

20

30

40

50

【0035】出力データは、空間ごとに異なるラベルがつけられた2次元多様体の境界と最小の空間分解能以上のサイズのセルからなるV-CADデータである。このV-CADデータは、境界を直接的に持つセル（境界セル）と持たないセル（非境界セル）で充填された全空間を有する。

【0036】図2において、「ラベル」は空間を区別するための番号（空間番号）として用いている。また、予めセルの種類（境界セルまたは内部セル）はセル区分ステップ（C）において判定されている。これは個々のセルの内部（セルの境界も含む）と入力である境界情報との交わりがあるかどうかで簡単に判別できる。

【0037】（1）初期設定ステップ（D1）において $k=1$ にセットしておく。

（2）ボリューム世界の原点は必ず非境界セルとなるように世界を定義し、空間 k を指定する。なお、原点は図5における頂点LDB（最左下手前側）とするのがよい。

（3）以下、ボクセル版ではX、Y、Zの3方向に対してそれぞれループ（順に繰り返し）を走らせることによって全セルを走査する。八分木の場合は再帰的な処理（階層的に深くなる）により、やはり全セルを順番に走査する。

【0038】図3では、走査の方向を矢印で示し、境界セル13aをハッチングで示し、各セルの空間番号 k をセル内に示している。また、図4では、セルの間隔を離して示し、走査済みのセルを符号S、走査中のセル（走査セル）を符号Pで示している。

（4）ステップ（E1）では、当該セルが境界セルになるまでは、すでにラベル付けされた隣接するセルのなかから非境界セル13bがあればそれと同じ空間番号 k をセットする。ステップ（E2）では、境界セルには空間0（境界を示すラベル）をセットする。ステップ（E3）では、再び非境界セルが来た場合に、 k を $k+1$ に更新し、新しい空間 k をセットする。図3では、各境界セル13aに空間番号0をセットし、各非境界セル13bに空間番号 k 、 $k+1$ 、 $k+2$ 、 $k+3$ をセットした状態を示している。

【0039】（5）ラベル付ステップ（D2）とラベル修正ステップ（D3）を走査セル毎に順に行う場合には、既にラベル付けされた隣接するセルのなかから走査中の非境界セルと異なるラベルを持つもの（番号 j とする）があり次第、現在の空間番号を j にさかのぼってふりなおす。隣接するセルはボクセル版の場合は図5におけるL側9個とD側3個およびB側1個の計13個（26隣接の半分）が既知である。図3の例では、空間番号 k 、 $k+1$ 、 $k+2$ 、 $k+3$ のうち、最も小さいふりなおす。

【0040】（6）以下（3）～（5）を繰り返して最後まで行く。（もしくは現在の k と j をペアとして不具

合リストに追加する。

（7）ラベル付ステップ（D2）をすべてのセルに対して行った後、ラベル修正ステップ（D3）を行う場合には、最初から全数を走査し、リストにある空間番号のペアにふくまれるセルがあれば、番号の若い方にふりなおす（空間番号の圧縮）。

【0041】上述した本発明の方法は、セル単位の処理で、先に内部セルのみを頂点、稜、面隣接で辿れる範囲を全て同じ空間とする方法であり、境界セルによって完全に囲まれない限り同じ空間となる。したがって以下の特徴がある。

（1）領域成長法による内外判定に比べて局所処理で済むので頑健である、境界情報（surface）を使う光線交差法と比べても境界情報に不備があっても内外判定ができるので頑健である。

（2）画像処理の境界追跡を用いる領域成長法に比べて高速である（セルの数を n とすると処理時間は $O(n)$ のオーダー）となる。

（3）実装が簡単である。

（4）安全側（異なる空間が混ざる（一つの空間）に分類されてしまうことのない）。

（5）局所的な情報を使って境界セルに囲まれるまで成長するので多空間（多重空間）（境界セルとしては非多様体的な接続）にたいしても適用可能である。

【0042】

【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。図6から図11は境界表現としてはかなり複雑な例題でソリッドモデリングでは変換や数値誤差に弱い例題だが本方法により頑健に内外判定が処理されているのを示している。

【0043】図6は、入力データの画像であり、自動車のバンパーのプレス金型をソリッドモデルで示している。図7は、図6の入力データを変換したセルと境界データを示している。

【0044】図8は、図7の部分拡大図であり、細線で囲まれたセルを境界データと同時に示している。図9は、図7のある断面であり、楕円部分が境界データの欠落部分である。この図から、セルの大きさに近い比較的大きな欠落があっても、境界セルを認識できることがわかる。

【0045】図10は、図9の全体図に切断点を追加した図であり、本発明において、入力データとセルの稜との切断点をもんつ境界セルをセル区分ステップ（C）で予め設定し、その他のセル（非境界セル13b）を優先させてラベル付けをすることにより、内外判定がより頑健に処理できることがわかる。図11は、図10と同様の別の断面であり、横穴があって非連結でも頑健に処理できることを示している。

【0046】

【発明の効果】上述した本発明の方法によれば、セル分割ステップ（B）ですべての外部データ12を境界平面

が直交する直方体セル 13 に分割し、セル区分ステップ (C) で分割された各セルを境界セル 13a と非境界セル 13b とに区分するので、外部データ 12 は仮に境界情報の不備があっても、必ず境界セル 13a 又は非境界セル 13b に区分される。

【0047】また、直方体セル 13 は、元の境界データに比べて大きいので、境界データの一部 (例えば 1 点) のみを含むものを境界セル 13a とすることにより、境界データは必ず境界セル 13a に含まれる。更に、データの欠落等、境界情報に不備があっても、その欠落の大きさが非境界セル 13b の大きさより小さい限り、欠落を含む境界データも必ず境界セル 13a に含まれる。

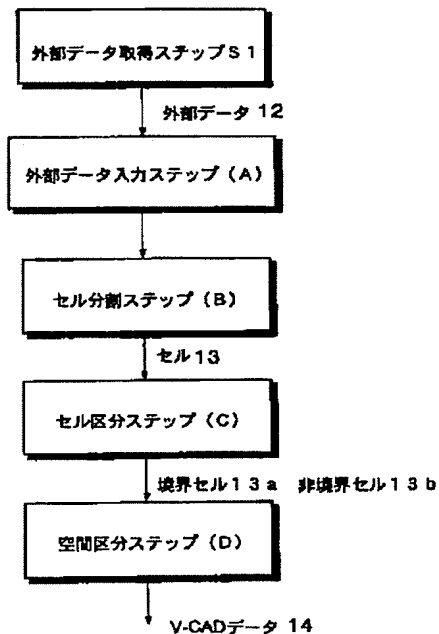
【0048】したがって本発明の方法とそのプログラムは、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても内外判定ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である、等の優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

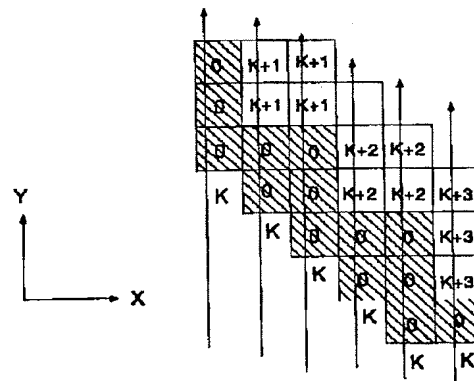
【図 1】本発明の境界データの内外判定方法のフロー図である。

【図 2】図 1 の空間区分ステップ (D) のフロー図であ

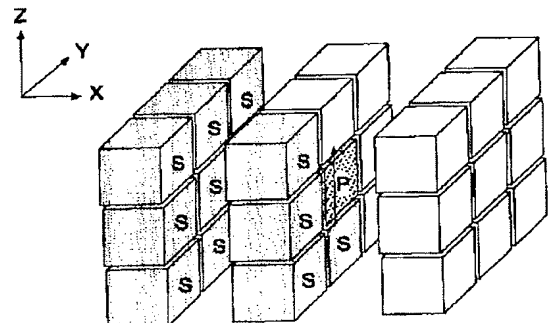
【図 1】



【図 3】



【図 4】



る。

【図 3】2次元におけるラベル付ステップ (D2) の模式図である。

【図 4】3次元におけるラベル付ステップ (D2) の模式図である。

【図 5】境界データを含むセルの各部を示す図である。

【図 6】ディスプレイ上に表示した入力データの間調画像である。

【図 7】入力データを変換したセルと境界データをディスプレイ上に表示した中間調画像である。

【図 8】細線で囲まれたセルと境界データをディスプレイ上に表示した中間調画像である。

【図 9】境界データの欠落部分をディスプレイ上に表示した中間調画像である。

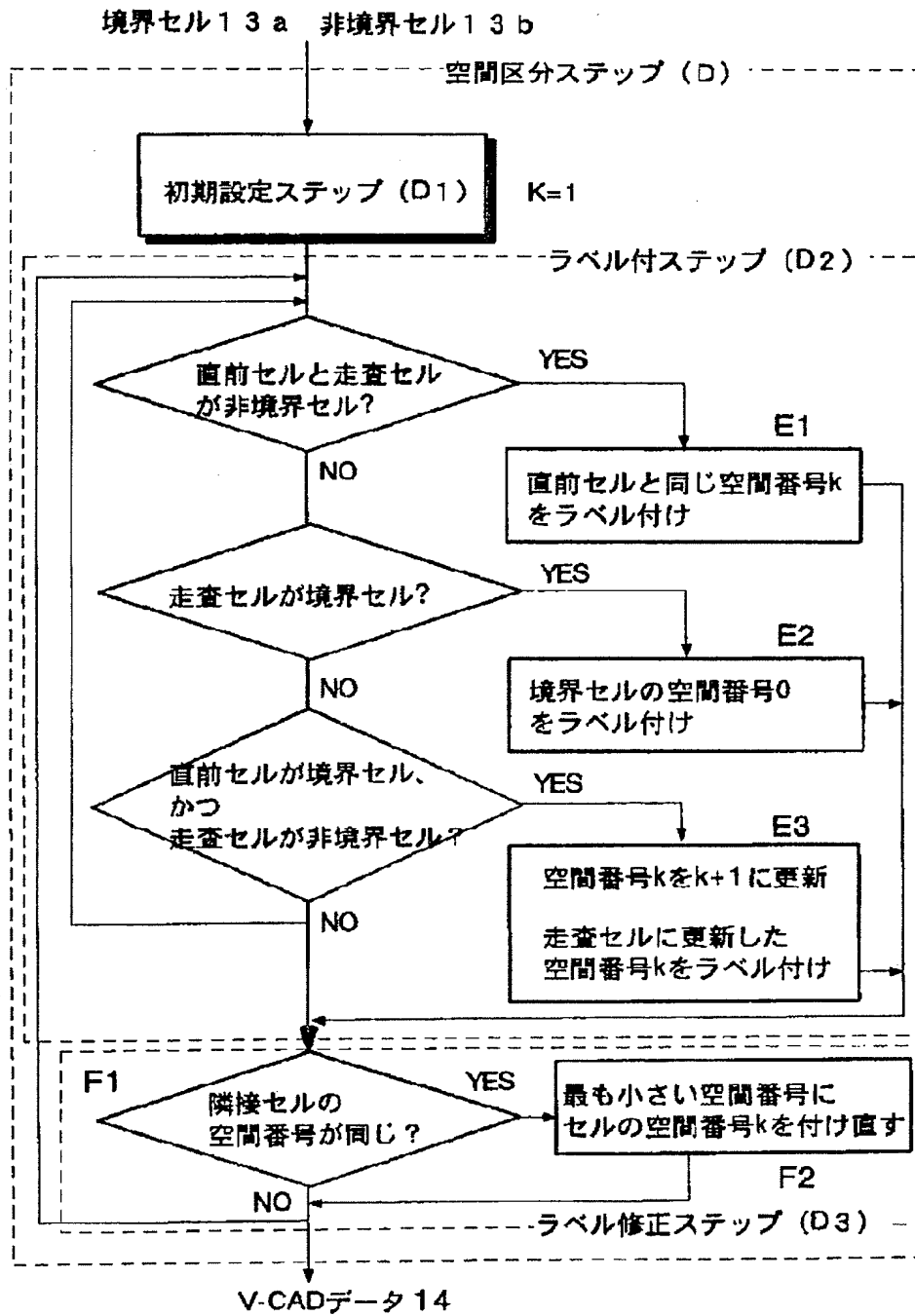
【図 10】図 9 の全体図に切断点を追加しディスプレイ上に表示した中間調画像である。

【図 11】横穴がある図 10 と同様の別の断面をディスプレイ上に表示した中間調画像である。

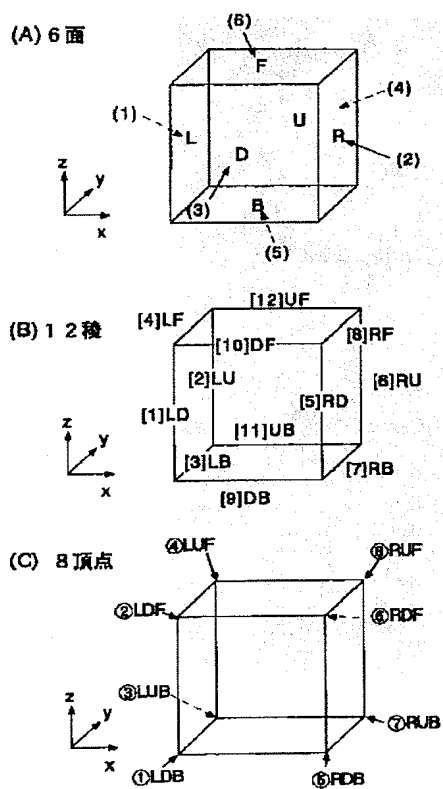
【符号の説明】

12 外部データ、13 セル、13a 境界セル、13b 非境界セル、14 V-CADデータ

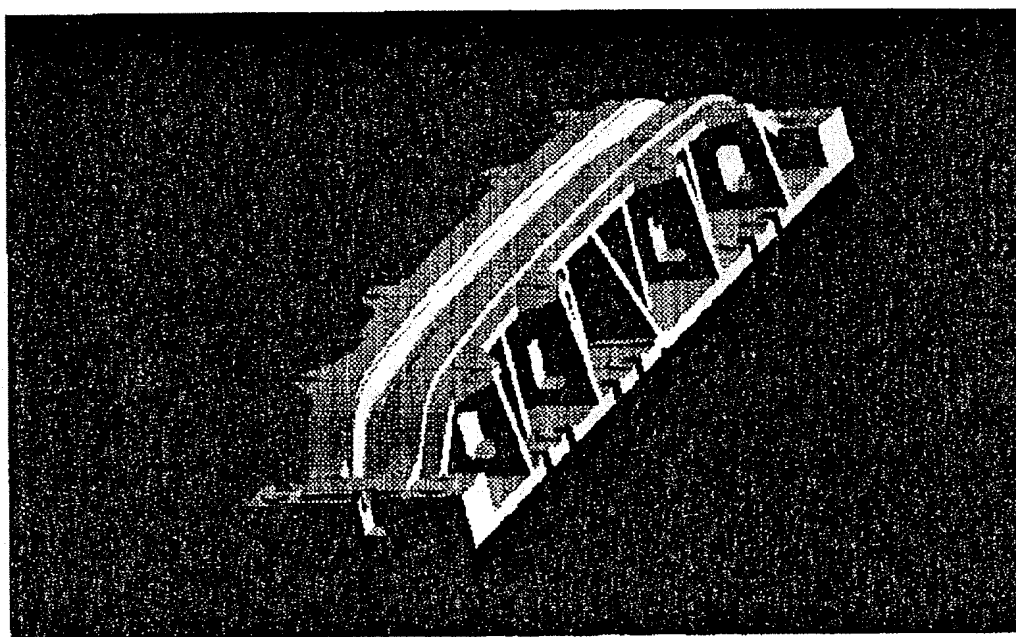
【図2】



【図5】

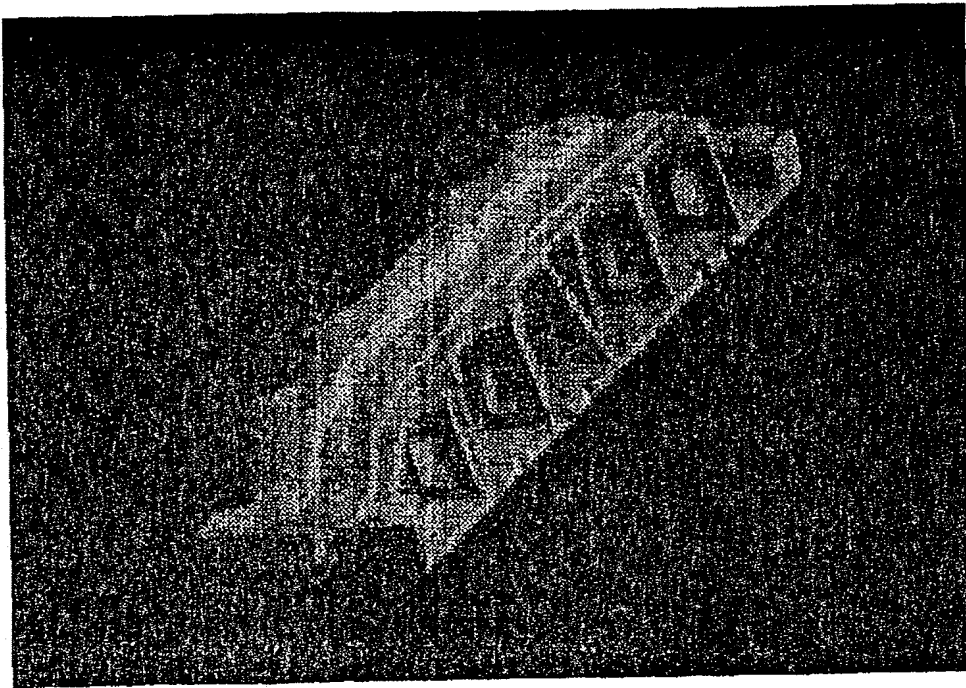


【図6】



入力データ（自動車のバンパーのプレス金型）

【図 7】



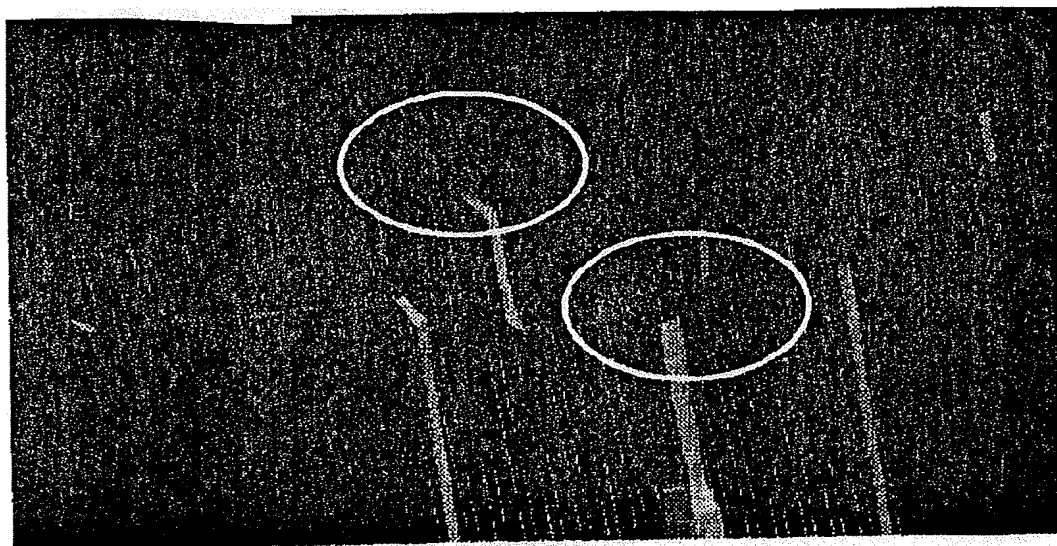
ボクセル版 V-CAD による変換された結果、セルとセル内面 (KTC) による表現

【図 8】



V-CAD データ (拡大図)

【図9】



ある断面(1 ボクセル分の厚さ) 丸印がデータの欠落

【図10】



【図 11】



横穴があって非連結でも大丈夫